

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**



DEUTSCHES  
PATENTAMT

21 Aktenzeichen: P 41 32 723.3-35  
22 Anmeldetag: 1. 10. 91  
43 Offenlegungstag: 16. 4. 92  
45 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 13. 7. 95

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

30 Unionspriorität: 32 33 31  
01.10.90 JP 2-263635

73 Patentinhaber:  
Hitachi Metals, Ltd., Tokio/Tokyo, JP

74 Vertreter:  
Beetz, R., Dipl.-Ing. Dr.-Ing.; Timpe, W., Dr.-Ing.;  
Siegfried, J., Dipl.-Ing.; Schmitt-Fumian, W., Prof.  
Dipl.-Chem. Dr.rer.nat.; Mayr, C.,  
Dipl.-Phys.Dr.rer.nat., Pat.-Anwälte, 80538 München

72 Erfinder:  
Watanabe, Junichi, Kumagaya, JP; Someji,  
Takahiro, Fukaya, JP; Watanabe, Yoshiyuki, Fukaya,  
JP; Jomura, Shigeru, Tokio/Tokyo, JP

66 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:  
DE 38 32 658 A1

64 Geschichtetes Verstellglied

DE 41 32 723 C 2

DE 41 32 723 C 2

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft ein geschichtetes Verstellglied nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Ein solches Verstellglied ist aus der DE 38 32 658 A1 bekannt.

5 Eine geschichtete piezo-elektrische Vorrichtung zur Verwendung in einer Stellvorrichtung für einen Positioniermechanismus, wie z. B. eine Bremse etc. in einem X-Y-Gestell wird mit einem Verfahren hergestellt, bei dem eine Elektrode an jedem aus einem piezo-elektrischen keramischen Material bestehenden Plättchen, die eine vorbestimmte Form besitzen, gebildet wird, um diese zu polarisieren und diese anschließend direkt oder über dünne Metallschichten mit organischem Klebstoff zusammengeheftet werden. Eine wie beschrieben mit Klebstoff laminierte Verschiebungsvorrichtung hat aber insofern Nachteile, als der Klebstoff die Verschiebung, die aufgrund der Schwingung der piezo-elektrischen Elemente auftritt, in Abhängigkeit der Gebrauchsbedingungen absorbiert, daß sich die Klebstoffqualität durch hohe Temperaturen oder lange Verwendungsdauer verschlechtert usw.

15 Aus diesem Grund wird in der Praxis eine geschichtete Stellvorrichtung mit der Struktur eines laminierten Plattenkondensators verwendet. D.h., daß, wie z. B. in der Veröffentlichung JP-B-59-32040 beschrieben, ein pastenartiges piezo-elektrisches keramisches Material, das durch Zugabe von Bindemittel zum Rohstoffpulver und Zusammenkneten beider erhalten wird, zu einem dünnen Plättchen mit einer festgelegten Dicke geformt und ein leitendes Material wie Silber-Palladium etc. auf eine oder beide Oberflächen dieses dünnen Plättchens unter Bildung von inneren Elektroden aufgebracht wird. Eine festgelegte Anzahl von oben beschriebenen dünnen Plättchen werden übereinander angeordnet, durch Druck miteinander verbunden und weiter in eine festgelegte Kontur geformt. Danach werden sie durch Sintern in ein keramisches Material überführt, und äußere Elektroden werden an zwei seitlichen Oberflächen des so erhaltenen geschichteten Körpers gebildet. Weil die enge Haftung an den Verbindungsbereichen der dünnen Plättchen aus dem piezo-elektrischen keramischen Material und den inneren Elektroden der so hergestellten geschichteten Stellvorrichtung hervorragend und gleichzeitig ihre thermische Charakteristik stabil ist, hat die geschichtete Stellvorrichtung insofern Vorteile, als sie zufriedenstellend bei hohen Temperaturen verwendet werden kann und daß die Störungen über einen langen Zeitraum extrem unwahrscheinlich sind.

Fig. 3 zeigt ein Beispiel der Struktur der geschichteten Stellvorrichtung mit alternierenden Elektroden. Die Bezugssziffer 1 bezieht sich auf ein dünnes Plättchen aus einem piezo-elektrischen keramischen Material, von dem eine Vielzahl übereinander angeordnet und dazwischen alternierend positive und negative innere Elektroden 2a und 2b unter Bildung eines laminierten Körpers 5 angeordnet sind. Die inneren Elektroden 2a und 2b sind so ausgebildet, daß ein isolierender Teil auf einer Seite der dünnen Plättchen nach außen herausragt oder freiliegt und mit äußeren Elektroden 3a bzw. 3b verbunden ist, die in der Laminierungsrichtung liegen und die ihrerseits über das Lötmedium mit Anschlußdrähten 6 über das Lötmedium 7 verbunden sind.

35 Durch den oben beschriebenen Aufbau wird, wenn Gleichspannung an die äußeren Elektroden 3a und 3b angelegt wird, zwischen den inneren Elektroden 2a und 2b ein elektrisches Feld aufgebaut und das dünne Plättchen 1 wird in der Dickenrichtung durch den longitudinalen Effekt des piezo-elektrischen keramischen Materials ausgedehnt, was zu einer Verschiebung führt. Bei einem solchen Aufbau tritt jedoch in den peripheren Bereichen, wo die inneren Elektroden 2a und 2b nicht übereinander angeordnet sind, nicht nur keine Deformation auf, sondern sie behindern auch die Deformation der gesamten Vorrichtung, weil die Intensität des elektrischen Feldes an den Grenzbereichen in der Nähe der seitlichen Oberflächen klein ist. Deswegen ist es bei einer solchen Vorrichtung des Typs der alternierenden Elektroden nicht möglich, mit hoher Präzision ein Streckungsmaß zu erreichen, das dem elektromechanischen Wandlmaterial entspricht und weiterhin tritt eine Belastungskonzentration im Grenzbereich zwischen dem sich verschiebenden und dem sich nicht verschiebenden Teil auf. Daher hat sie den Nachteil, daß die Vorrichtung durch Anlegen einer hohen Spannung oder durch Anlegen einer Spannung über einen langen Zeitraum zerstört wird.

40 Als Vorrichtung, für die der beschriebene Nachteil vermieden wird, ist eine geschichtete Stellvorrichtung bekannt, wie sie in Fig. 4 dargestellt ist, die als sogenannter Gesamtoberflächenelktrodentyp bezeichnet wird, für die der piezo-elektrische Verschiebungseffekt vergrößert ist (s. z. B. JP-A-58-196068 etc.). In Fig. 4 werden identische Teile durch die gleichen Bezugssziffern bezeichnet wie in Fig. 3. Die inneren Elektroden 2a und 2b sind so ausgebildet, daß sie sich über die gesamte Oberfläche des dünnen Plättchens 1 erstrecken, und eine festgelegte Anzahl dünner Plättchen sind, ähnlich wie vorher beschrieben, übereinander angeordnet. Dann wird auf einer der seitlichen Oberflächen des so aufgebauten laminierten Körpers 5 eine isolierende Schicht 4 aus einem isolierenden Material für jede zweite Schicht angebracht, wobei sie einen Rand einer der inneren Elektroden 2a und 2b (z. B. nur die inneren Elektroden 2b) bedeckt, und weiterhin wird die äußere Elektrode 3a, die aus einem leitenden Material besteht, angebracht, wobei sie die seitliche Oberfläche einschließlich der isolierenden Schicht 4 bedeckt. Auf der anderen seitlichen Oberfläche des laminierten Körpers 5 wird eine isolierende Schicht 4 am Rand der inneren Elektroden (z. B. 2a) angebracht, auf der die vorher erwähnte isolierende Schicht nicht angebracht war, und die andere äußere Elektrode 3b wird auf der anderen seitlichen Oberfläche einschließlich der isolierenden Schicht 4 angebracht. Die Arbeitsweise der so aufgebauten Stellvorrichtung ist identisch der oben anhand der Fig. 3 beschriebenen. Es kann aber in einer Stellvorrichtung mit einem solchen Aufbau eine gleichmäßigere Deformation als mit einer solchen mit dem in Fig. 3 gezeigten Aufbau erreicht werden, und deswegen tritt keine Belastungskonzentration auf. Folglich kann eine große Streckung, die diesem elektromechanischen Material entspricht, erhalten werden, und daher hat sie den Vorteil, daß mit der Deformation keine Zerstörung auftritt.

65 Das aus der DE 38 32 658 A1 bekannte Verstellglied besteht aus einer Vielzahl dünner Plättchen aus einem piezoelektrischen elektromechanischen Wandlmaterial, die aufeinander geschichtet einen laminierten Körper bilden. Innere Elektroden sind zwischen den Plättchen ausgebildet und abwechselnd an zwei verschiedenen

Orten auf den seitlichen Oberflächen des laminierten Körpers über äußere Elektroden mit entgegengesetzten Polen einer Spannungsquelle verbindbar. Die äußeren Elektroden sind durch Isolationsschichten von jeweils jeder zweiten inneren Elektrode elektrisch isoliert.

Die Isolationsschichten sind aus einem Material, das sich als nicht hitzebeständig erwiesen hat. Nach Hochtemperaturversuchen über längere Zeiträume haben sich Isolationsdefekte eingestellt.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine geschichtete Verstellvorrichtung zur Verfügung zu stellen, deren Herstellung leicht ist und deren isolierende Eigenschaften selbst dann nicht gestört werden, wenn sie über einen langen Zeitraum im Bereich hoher Temperaturen verwendet wird.

Die Aufgabe wird anspruchsgemäß gelöst.

Im Unteranspruch ist eine bevorzugte Ausführungsform der erfindungsgemäßen Verstellvorrichtung gekennzeichnet.

Für die Anbringung der isolierenden Schicht 4 aus einem isolierenden Material an den Rändern der inneren Elektroden 2a und 2b werden das Druckverfahren, das Aufbringungsverfahren usw., wie oben anhand der Fig. 4 beschrieben, angewendet. Jedoch sollte, für den Fall, daß diese Verfahren angewendet werden, ein fließfähiges isolierendes Material benutzt werden, und es ist dann schwierig, fest eine dünne Isolierschicht 4 zu bilden und die Dicke der Aufbringung zu kontrollieren. Aus diesem Grund ist es unvermeidbar, daß große Schwankungen der Form und der Größe der Isolierschicht 4 auftreten. Das führt dadurch zu einem Problem, daß, wenn die Ausdehnung der Isolierschicht 4 in der Dickenrichtung oder in der Breitenrichtung groß ist, dies die Deformation der Vorrichtung behindert und andererseits, wenn die Ausdehnung in der Dicke oder in der Breite klein ist, dies die Spannungsbeständigkeit herabsetzt.

Um das oben beschriebene Problem zu lösen, wurde ein Verfahren vorgeschlagen, bei dem die Isolierschicht 4 durch Elektrophorese gebildet wird, wobei Glaspulver verwendet wird (s. z. B. JP-A-63-17355, JP-A-63-18351 bis 18353). Gemäß diesen Vorschlägen soll es möglich sein, die isolierende Schicht 4 stabil und mit hoher Präzision zu bilden und eine große Anzahl von Vorrichtungen gleichzeitig zu bearbeiten. Diese weisen allerdings insofern ein Problem auf, als die Kriechentfernung zwischen der positiven und der negativen Elektrode durch die Breitenabmessungen der isolierenden Schicht begrenzt ist.

Es kann durch die geschichtete Verstellvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung erreicht werden, daß das Isolationsvermögen erhöht wird, weil die Kriechentfernung zwischen den Elektroden, verglichen mit dem Typus des Standes der Technik, wie er in Fig. 4 dargestellt ist, ansteigt.

In neuerer Zeit werden geschichtete Verstellvorrichtungen oft in einem Hochtemperaturbereich von ungefähr 150°C verwendet. In der geschichteten Verstellvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung wird im allgemeinen anorganisches Glas als Material für die Isolierschichten verwendet. Für den Fall, daß solches anorganisches Glas in dem oben beschriebenen Hochtemperaturbereich verwendet wird, kann es passieren, daß das anorganische Glas mit dem Glasanteil in den äußeren Elektroden reagiert und daß die leitende Komponente, die die äußeren Elektroden ausmacht, in die isolierenden Schichten eindringt, wodurch Isolationsdefekte auftreten. Weiterhin kommt es vor, daß anorganisches Glas während des Zusammenbackens austritt und es schwierig ist, es in der Dickenrichtung in einer vorbestimmten Größe zu formen. Weiterhin mangelt es einer solchen Isolierschicht an Elastizität, und es können durch Expansion und Kontraktion der dünnen Plättchen Risse gebildet werden. Ferner treten dadurch Probleme auf, daß Defekte in den bearbeiteten Bereichen erzeugt werden können, wenn die Rillen in den Isolierschichten gebildet werden, wodurch Isolationsdefekte auftreten.

Die geschichtete Verstellvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung, die nicht nur die Beseitigung der obengenannten Probleme erlaubt, sondern deren Isolationswiderstand auch in einem hohen Ausmaß erhalten bleibt, selbst wenn sie in einem Hochtemperaturbereich benutzt wird und die auch leicht herzustellen ist, wird unten beschrieben.

Für eine geschichtete Verstellvorrichtung, bei der eine Vielzahl von dünnen Plättchen aus einem piezo-elektrischen elektromechanischen Wandlmaterial und eine Vielzahl von inneren Elektroden aus einem leitenden Material, die so gestaltet sind, daß sie näherungsweise identische ebene Konturen und Kontaktflächen besitzen, unter Bildung eines laminierten Körpers alternierend übereinander geschichtet werden, und ein Paar äußere Elektroden an den seitlichen Oberflächen dieses laminierten Körpers angeordnet werden, von denen jede mit jeder zweiten inneren Elektrode zu verbinden ist, wird eine Technik angewendet, bei der die Isolierschicht zwischen jeder der äußeren Elektroden und den inneren Elektroden, die von ihnen im nicht verbundenen Zustand isoliert sein sollten, aus einem kristallinen anorganischen Material besteht, das zu 5 bis 45 Gew.-% in PbO überführtes Pb enthält.

Weiterhin wird eine andere Technik angewendet, bei der eine Reaktionsschicht, die an der Grenzfläche zwischen den Isolierschichten, die sich zwischen den äußeren und den inneren Elektroden befindet, erzeugt wird, um diese in einem nicht verbundenen Zustand voneinander zu isolieren, und die oben beschriebenen dünnen Plättchen in einer Dicke von weniger als 2 µm erzeugt werden.

In der oben beschriebenen Erfindung ist es nicht anzustreben, daß der Gehalt an in PbO überführtem Pb kleiner als 5 Gew.-% ist, weil in diesem Fall der Vorgang, der die zwischen den Isolierschichten und den dünnen Plättchen gebildete Reaktionsschicht unterbindet, nicht zufriedenstellend erwartet werden kann. Auf der anderen Seite ist es unpassend, wenn der Gehalt des in PbO überführten Bleis 45 Gew.-% überschreitet, weil dieses in diesem Fall während des Betriebs aufgrund einer überschüssigen Glaskomponente nicht nur leicht bricht, sondern auch mit dem Glasanteil in den äußeren Elektroden reagiert und leitende Komponente in die Isolierschichten eindringt, wodurch der Isolationswiderstand herabgesetzt wird. Weiterhin ist es nicht günstig, daß die Dicke der Reaktionsschicht 2 µm überschreitet, weil dies den Isolationswiderstand herabsetzt.

Insbesondere ist ein Gehalt an PbO von 20 bis 40 Gew.-% und eine Dicke der Reaktionsschicht von weniger als 1 µm geeignet, die oben erwähnten Probleme zu überwinden.

Bei dem oben beschriebenen Aufbau ist es nicht nur möglich, die Extraktion von Pb aus den dünnen Plättchen

durch die Isolierschichten zu unterdrücken, sondern auch die Bildungstemperatur der Reaktionsschicht, die zwischen ihnen gebildet wird, und somit den Isolationswiderstand zu erhöhen, während die elektromechanische Wandlercharakteristik erhalten bleibt.

Wie oben erklärt, können die folgenden Effekte durch weitere Verbesserung der oben beschriebenen Erfindung erreicht werden.

- 1) Weil die Isolierschichten aus einem kristallinen anorganischen Material bestehen, ist es möglich, ihre Reaktion mit der Glasmasse in den äußeren Elektroden, das Austreten beim Zusammenbacken und die Erzeugung von Defekten wie Rissen beim Betrieb, Brechen bei mechanischer Arbeit usw. vollständig zu vermeiden.
- 2) Weil in den Isolierschichten PbO enthalten ist, ist es möglich, Funktionsstörungen der laminierten Verschiebungsvorrichtung aufgrund der Extraktion von PbO aus den Materialien, die den laminierten Körper ausmachen, und/oder Erzeugung der Reaktionsschicht an der Grenzfläche zu verhindern.
- 3) Weil sie nicht nur bei Raumtemperatur, sondern besonders auch im Hochtemperaturbereich ein gutes Isolationsvermögen hat, ist sie für die Verwendung im Hochtemperaturbereich geeignet.
- 4) Weil keine speziellen Mittel zur Bildung der Isolationsschichten und zur Herstellung des kristallinen anorganischen Materials nötig sind, sondern konventionelle Mittel dafür verwendet werden können, ist ihre Herstellung einfach.

Die Erfindung wird durch die in der Zeichnung veranschaulichten Ausführungsbeispiele näher erläutert.

Fig. 1A ist eine Fotografie, die das Korngefüge in der Nähe der Grenzfläche zwischen den Isolierschichten und den dünnen Plättchen in einem Ausführungsbeispiel zeigt, bei dem PbO den Isolierschichten einer geschichteten Verstellvorrichtung zugesetzt ist;

Fig. 1B ist eine Fotografie, die das Korngefüge in der Nähe der Grenzfläche zwischen den Isolierschichten und den dünnen Plättchen in einem Ausführungsbeispiel zeigt, bei dem den Isolierschichten einer geschichteten Verstellvorrichtung kein PbO zugesetzt ist;

Fig. 2A ist ein Diagramm, das die durch EPMA (Elektronentestanalysator) erhaltenen Ergebnisse der Analyse in der Nähe der Grenzfläche, die in Fig. 1A dargestellt ist, zeigt;

Fig. 2B ist ein Diagramm, das die durch EPMA erhaltenen Ergebnisse der Analyse in der Nähe der Grenzfläche, die in Fig. 1B dargestellt ist, zeigt;

Fig. 3 ist ein Schema zur Erklärung einer geschichteten Verstellvorrichtung, die dem Stand der Technik entspricht (alternierender Elektrodentyp);

Fig. 4 ist ein Schema zur Erklärung einer anderen geschichteten Verstellvorrichtung gemäß dem Stand der Technik (Gesamtoberflächenelektrodentyp);

Fig. 5A und 5B sind perspektivische Ansichten zur Erklärung der Herstellungsschritte einer geschichteten Verstellvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung;

Fig. 5C ist eine perspektivische Ansicht zur Erklärung der geschichteten Verstellvorrichtung;

Fig. 5D ist eine perspektivische Ansicht zur Erklärung eines Zustands, in dem die geschichtete Verstellvorrichtung mit einer Deckschicht bedeckt ist; und

Fig. 5E ist eine perspektivische Ansicht zur Erklärung eines anderen Zustands, in dem die geschichtete Verstellvorrichtung mit einer Deckschicht bedeckt ist.

Fig. 5A und 5C sind perspektivische Ansichten, die den grundlegenden Teil der vorliegenden Erfindung zeigen, in denen Teile, die mit denen in den Fig. 3 und 4 identisch sind, durch die gleichen Bezugsziffern bezeichnet werden. In den Fig. 5A bis 5C, z. B., wird zuerst Rohmaterial, das z. B. aus 62,36 Gew.-% PbO, 4,54 Gew.-%  $\text{SrCO}_3$ , 11,38 Gew.-%  $\text{TiO}_2$ , 20,6 Gew.-%  $\text{ZrO}_2$  und 1,12 Gew.-%  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  besteht provisorisch für eine Stunde bei 800°C gesintert, nachdem sie in einer Kugelmühle gemischt wurden. Nachdem das so provisorisch gesinterte Pulver pulverisiert ist, wird Polyvinylbutylal hinzugegeben. Dieses Gemisch wird in Trichlorethylen dispergiert, um es dünnflüssig zu machen, und das gemischte Material wird zu einem blattförmigen dünnen Plättchen durch das Abstreifverfahren 100 µm dünn ausgeformt.

Dann wird z. B. leitende Platinpaste oder Silber-Palladiumpaste zur Bildung innerer Elektroden 2a und 2b auf der gesamten Oberfläche dieses dünnen Plättchens 1 durch Siebdruck aufgetragen; z. B. werden 100 dünne Plättchen 1 mit inneren Elektroden 2a und 2b, die wie beschrieben gebildet wurden, übereinander angeordnet, so daß das dünne Plättchen und die innere Elektrode alternieren, und durch Druck zusammengepreßt.

Danach wird dieser Preßling zu einer festgelegten Abmessung und Form unter Erhalt laminierten Körper geschnitten. Nachdem das Bindemittel bei 500°C entfernt worden ist, werden sie für 1–5 h bei einer Temperatur von 1050 bis 1200°C in einer Sauerstoffatmosphäre gesintert. Dann werden sie zu einer festgelegten Größe unter Bildung des laminierten Körpers 5 geschnitten. Die Größe dieses laminierten Körpers ist z. B. 5 × 5 × 10 l (mm) oder 10 × 10 × 10 ml, wobei l die Länge bedeutet. Anschließend werden Isolierschichten 7a und 7b, die aus einem Isoliermaterial bestehen, auf aneinander angrenzenden seitlichen Oberflächen dieses laminierten Körpers 5 gebildet, wobei diese die inneren Elektroden 2a und 2b kreuzen.

In den Fig. 5B, bedeuten 8a und 8b Rillen, die in Bereichen auf den Isolierschichten 7a und 7b, die den inneren Elektroden 2a und 2b entsprechen, z. B. mittels eines Ritzwerkzeugs etc. erzeugt werden. In Fig. 5C können die äußeren Elektroden 3a und 3b und die inneren Elektroden 2a und 2b in entsprechender Zuordnung miteinander verbunden werden, wenn die äußeren Elektroden 3a und 3b auf den Isolierschichten 7a und 7b so gebildet werden, daß sie die Rillen 8a bzw. 8b kreuzen. Anschließend wird der gesamte laminierte Körper mit einer Deckschicht 9 bedeckt, wie in Fig. 5D gezeigt, und die äußeren Elektroden 3a und 3b werden zur Versorgung mit Spannung mit Hilfe von Lötmitte mit Anschlußdrähten verbunden. Vorzugsweise wird die Deckschicht 9, wie folgt, gebildet: feines Pulver, das aus anorganischen Materialien, wie z. B.  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Glas usw. besteht, wird

unter Erhalt einer pastenförmigen Mischung mit einem flüssigen Bindemittel gemischt. Dieses Gemisch wird in einer Dicke von mehreren  $\mu\text{m}$  auf den laminierten Körper aufgetragen und getrocknet. Es wird anschließend noch zwei weitere Male aufgetragen und die 3 so erhaltenen Schichten werden zusammen polymerisiert. Nachdem die äußeren Elektroden mit den Anschlußdrähten verlötet sind, werden die seitlichen Oberflächen des laminierten Körpers 5 z. B. mit Epoxidharz weiter bedeckt. Zu diesem Zeitpunkt können die gesamten seitlichen Oberflächen des laminierten Körpers mit Ausnahme der Anschlußdrähte 9a und 9b mit der Deckschicht 9 bedeckt sein.

Aufgrund des oben beschriebenen Aufbaus kann der Effekt erhalten werden, den Kriechweg zwischen den Elektroden, verglichen mit der in Fig. 4, zu vergrößern und so das Isolationsvermögen zu steigern.

#### Zweites Ausführungsbeispiel

In neuerer Zeit besteht die Notwendigkeit, eine geschichtete Verstellvorrichtung in einem Hochtemperaturbereich, z. B. bei  $150^\circ\text{C}$ , zu verwenden. Es wurde erkannt, daß es einige Punkte gab, die weiter zu verbessern waren, auch in der oben beschriebenen Erfindung. D.h., in den Fig. 5A bis 5C sind die Isolierschichten 7a und 7b zwischen den äußeren Elektroden 3a und 3b und den internen Elektroden 2a und 2b angeordnet, die im nichtverbundenen Zustand voneinander isoliert sein müssen. Im allgemeinen wird anorganisches Glas als Material zur Bildung der Isolierschichten 7a und 7b verwendet. Für den Fall, daß solches anorganisches Glas im Hochtemperaturbereich benutzt wird, können die Isolierschichten 7a und 7b mit der Glasmasse in den äußeren Elektroden 3a und 3b reagieren und so kann eine leitende Komponente der äußeren Elektroden 3a und 3b in die Isolierschichten 7a und 7b eindringen, wodurch Isolationsdefekte erzeugt werden. Weiterhin ist es, weil beim Backen anorganisches Glas austritt, schwierig, die Isolierschichten 7a und 7b in einer festgelegten Größe und Dicke zu erzeugen. Ferner kann es, weil die Isolierschichten 7a und 7b eine ungenügende Elastizität aufweisen, passieren, daß durch die Expansion und Kontraktion des dünnen Plättchens 1 Risse entstehen, was zu Isolationsdefekten führt. Weiterhin kann in der Nähe von bearbeiteten Bereichen Bruch auftreten, wenn die Rillen 8a und 8b in den isolierenden Schichten 7a bzw. 7b gebildet werden. Als Ergebnis treten Probleme dadurch auf, daß leicht Isolationsdefekte erzeugt werden können usw. Für den Fall, wo die Isolierschichten 7a und 7b aus einem üblichen keramischen Material statt des oben beschriebenen anorganischen Glas bestehen, wird  $\text{PbO}$  im piezoelektrischen keramischen Material, das den laminierten Körper 5 ausmacht, während des Sinterns verdampft, was die piezoelektrische Charakteristik verschlechtert, weil die Sintertemperatur hoch ist ( $800$  bis  $850^\circ\text{C}$ ). Weiterhin tritt ein Problem dadurch auf, daß der Isolationswiderstand während des Betriebs der Vorrichtung verschlechtert wird, was zum Durchschlag der Isolation führen kann, weil eine Reaktionsschicht an der Grenzfläche zwischen den Isolierschichten und den dünnen Plättchen 1, die aus einem piezoelektrischen keramischen Material bestehen, erzeugt wird.

Unten wird nun eine erfindungsgemäße geschichtete Verstellvorrichtung erklärt, mit der nicht nur das oben beschriebene Problem gelöst werden kann, den Isolationswiderstand auf einem hohen Wert zu halten, selbst wenn sie in einem Hochtemperaturbereich benutzt wird, sondern die auch leicht hergestellt werden kann.

Z.B. wird durch die schon erklärte Technik ein laminierter Körper 5 von z. B.  $5 \times 5 \times 10$  l (mm), wie in Fig. 5A gezeigt, erzeugt. Eine Grundzusammensetzung, wie sie unten angegeben ist, wird als anorganisches Material zur Bildung der Isolierschichten 7a und 7b verwendet.

$\text{BaCO}_3$	20 Gew.-%
$\text{TiO}_2$	13 Gew.-%
$\text{ZrO}_2$	3 Gew.-%
$\text{Al}_2\text{O}_3$	17 Gew.-%
$\text{SiO}_2$	30 Gew.-%
$\text{ZnO}$	17 Gew.-%

$\text{Pb}_3\text{O}_4$  oder  $\text{PbO}$  wird in unterschiedlichen Anteilen gemäß einer später angegebenen Tabelle dazugegeben.

Die beschriebene Grundzusammensetzung ist ein Isolationsmaterial für elektronische Teile, das zur Belegung dielektrischer Substanzen für Dickfilmschaltkreissubstrate etc. verwendet wird. Dieses Material, dem  $\text{Pb}_3\text{O}_4$  oder  $\text{PbO}$ , wie oben angegeben, beigegeben wird, wird provisorisch bei  $700^\circ\text{C}$  gesintert, nachdem sie in einer Kugelmühle gemischt worden sind. Das so erhaltene Pulver wird weiter mittels der Kugelmühle pulverisiert. Methylzellulose und Lösungsmittel werden diesem Pulver beigegeben, das, um es pastenförmig zu machen, geknetet wird. Dieses Gemisch wird auf benachbarte seitliche Oberflächen durch Siebdruck aufgebracht und bei einer Temperatur von  $800$  bis  $850^\circ\text{C}$  unter Bildung der Isolierschichten 7a und 7b gesintert (s. Fig. 5A). In diesem Fall ist es nicht wünschenswert, daß die Sintertemperatur unter  $800^\circ\text{C}$  liegt, weil die Sinterung der Isolierschichten 7a und 7b nicht ausreichend ist. Auf der anderen Seite ist es ungünstig, daß die Sintertemperatur  $850^\circ\text{C}$  übersteigt, weil  $\text{PbO}$  aus dem elektromechanischen Wandlermaterial verdampft, das den laminierten Körper 5 ausmacht, und so die elektromechanische Wandlercharakteristik verschlechtert wird. Dann werden, wie in Fig. 5B gezeigt, z. B. mittels eines Ritzwerkzeugs die Rillen 8a und 8b gebildet. Dann wird Silberpaste darauf aufgebracht, wie in Fig. 5C gezeigt, und bei einer Temperatur von  $600$  bis  $800^\circ\text{C}$  gesintert. Zum Schluß werden die äußeren Elektroden 3a und 3b gebildet und es werden unter Erhalt der endgültigen Vorrichtung (in der Figur nicht eingezeichnete) Anschlußdrähte an sie angelötet. Die Ergebnisse der Untersuchungen der so hergestellten Vorrichtungen sind in der nachfolgenden Tabelle angegeben.

Nr.	Menge des in PbO umgewandelten Pb (Gew.-%)	Leichtigkeit des Rillenschneidens	Isolationswiderstand (M $\Omega$ )		Dicke der Isolierschicht ( $\mu$ m)	Ergebnis des Betriebsdauerhaftigkeitsversuchs
			25°C	150°C		
1	0	○	1050	150	10	Isolationsdurchschlag
2	3	○	1300	180	4	"
3	5	○	1700	300	2	normal
4	10	○	2000	500	1,5	"
5	20	○	2500	550	1,0	"
6	30	○	4500	900	0,7	"
7	40	○	5500	1500	0,3	"
8	45	○	5000	1100	0,1	"
9	50	X	2000	430	0,1	Isolationsdurchschlag

Wie man aus der Tabelle klar ersehen kann, ist für Nr. 1 ohne Pb-Gehalt in den Isolierschichten 7a und 7b, die in den Fig. 5A bis 5C gezeigt sind, die an der Grenzfläche zwischen den Isolierschichten 7a und 7b und den dünnen Plättchen 1 erzeugte Reaktionsschicht 10  $\mu$ m dick, und der Isolationswiderstand ist erniedrigt. Die obengenannte Reaktionsschicht wird dünner, und der Isolationswiderstand nimmt zu, wenn der Anteil an in PbO überführtem Pb wächst. Für Nr. 9 tritt, weil ein Überschuß an Glaskomponente im Isoliermaterial auftritt, da der Anteil an in PbO überführtem Pb zu hoch ist, beim Herstellen der Rillen 8a und 8b in Fig. 5B leicht Bruch auf, und es ist schwierig, die Vorrichtung herzustellen. Weiterhin reagieren die Isolierschichten 7a und 7b mit der Glasmasse in den äußeren Elektroden 3a und 3b, die in Fig. 5C gezeigt sind, und leitende Komponente dringt darin ein, was den Isolationswiderstand erniedrigt. Für Nr. 2 ist nicht nur der in PbO überführte Anteil an Pb unzureichend, sondern es ist auch die Reaktionsschicht 4  $\mu$ m dick und der Isolationswiderstand ist auch niedrig. Auf der anderen Seite haben die Nummern 3–8 einen hohen Isolationswiderstand.

Anschließend wurden Beständigkeitstests, bei denen eine Gleichspannung von 150 V kontinuierlich an verschiedene Vorrichtungen bei einer Temperatur von 150°C angelegt wurden, durchgeführt. Die damit erhaltenen Ergebnisse sind auch in der Tabelle angegeben. Danach erniedrigten sich für die Nr. 1, Nr. 2 und Nr. 9 die Isolationswiderstände allmählich, und die Isolierung brach nach 300 h, 550 h bzw. 300 h zusammen. Das bedeutet, daß für die Vorrichtungen (Nr. 1 und Nr. 2) mit dicken Reaktionsschichten ionisierte Silberatome in den äußeren Elektroden 3a und 3b, wie in Fig. 5C gezeigt, durch die Reaktionsschicht in Richtung der inneren Elektroden 2a oder 2b auf der Seite des negativen Pols diffundieren, was den Isolationswiderstand erniedrigt, und daß schließlich ein Durchschlag der Isolation aufgrund der Tatsache auftritt, daß daran eine Gleichspannung bei hoher Temperatur angelegt wird. Auf der anderen Seite tritt für Nr. 9 durch die Erzeugung von Rissen bei der Erzeugung der Rillen 8a und 8b ein Durchschlag der Isolation auf und eine Reaktion der Isolierschichten 7a und 7b mit der Glasmasse in den äußeren Elektroden 3a und 3b auf. Dagegen ist für die Nummern 3–8 gemäß der vorliegenden Erfindung die Reaktionsschicht extrem dünn und so ist der oben beschriebene Diffusionsweg für die ionisierten Silberatome unterbrochen. Nach dem Betrieb von 100 h gibt es keine Vorrichtungen, für die die Isolation zusammenbricht. Aus den oben beschriebenen Ergebnissen ist erkennbar, daß die geschichtete Verstellvorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung für Geräte, die in einem hohen Temperaturbereich über 100°C, wie eine Vorrichtung für einen Hochtemperaturmassenfluß-Überwacher verwendet werden, geeignet ist.

Die Fig. 1A und 1B sind Fotografien, die das Korngefüge in der Nähe der Grenzfläche zwischen den Isolierschichten und den dünnen Plättchen in den verschiedenen Ausführungsbeispielen zeigen. Die Fig. 2A und 2B sind Diagramme, die die Ergebnisse der Analyse durch EPMA zeigen, und sie sind so bezeichnet, daß ihre Lagen in der horizontalen Richtung denen der Fig. 1A bzw. 1B entsprechen. Die Fig. 1A und 2A beziehen sich auf eine Vorrichtung, bei der den Isolierschichten in einem Anteil von 32 Gew.-%  $Pb_3O_4$  zugesetzt ist, während sich die Fig. 1B und 2B auf eine Vorrichtung beziehen, bei der ihnen kein  $Pb_3O_4$  zugesetzt ist. Die in Fig. 1A und 1B verwendeten Bezugswerte entsprechen denen der Fig. 3 und 5.

In Fig. 1B bedeutet die Bezugswert 17 die Reaktionsschicht, und es ist ersichtlich, daß diese aufgrund der Extraktion von Pb im piezo-elektrischen keramischen Material, das die dünnen Plättchen ausmacht, zu der Seite der Isolierschicht 7a porös ist, und im Gegensatz dazu kann man in Fig. 1A die Grenzfläche zwischen dem

dünnen Plättchen 1 und der Isolierschicht 7a klar erkennen, und es tritt überhaupt keine Reaktionsschicht dazwischen auf.

Wie oben beschrieben, ist es aufgrund der Tatsache, daß das die Isolierschicht 7a bildende Material PbO enthält, möglich, die Erzeugung der Reaktionsschicht 17 an der Grenzfläche zwischen der Isolierschicht 7a und dem dünnen Plättchen 1 zu unterdrücken. Dies wird mit den Fig. 2A und 2B klarer. In Fig. 2B nimmt der Gehalt an Pb in der Reaktionsschicht 17 zwischen dem dünnen Plättchen 1 und der Isolierschicht 7a kontinuierlich ab, während der Gehalt an Ti kontinuierlich zunimmt. Das bedeutet, daß die Änderungen in der Zusammensetzung des dünnen Plättchens 1 und der Isolierschicht 7a begleitende Reaktionsschicht 17 durch die Reaktion zwischen ihnen erzeugt wird. In dieser Reaktionsschicht 17 variieren die Gehalte an Pb und Ti, abhängig von der Position in der horizontalen Richtung, was darauf hindeutet, daß Pb und Ti gewandert sind. Im Gegensatz dazu bleiben in Fig. 2A die Gehalte dieser Elemente im dünnen Plättchen 1 und der Isolierschicht 7a konstant. Darüber hinaus variieren sie an der Grenzfläche schrittweise, und kontinuierliche Variationen, abhängig von der Position in der horizontalen Richtung, sind nicht erkennbar. Dieses Ergebnis steht in Übereinstimmung mit dem Ergebnis, daß die Grenzfläche zwischen dem dünnen Plättchen 1 und der Isolierschicht 7a in Fig. 1A klar erkennbar ist, was eine Bestätigung dafür ist, daß zwischen ihnen keine Reaktionsschicht existiert.

Anschließend wurde eine Isolierschicht 7a auf einer geschichteten Verstellvorrichtung gemäß dem Stand der Technik, wie in Fig. 4 gezeigt, unter Verwendung des vorher beschriebenen anorganischen Materials, das in PbO überführtes Pb enthält, ausgebildet. Das heißt, daß ein pastenartiges Material vorbereitet wird, das dem im vorher beschriebenen Ausführungsbeispiel verwendeten ähnlich ist. Es wird auf den Bereichen durch Siebdruck aufgetragen, wo die inneren Elektroden 2a und 2b auf den seitlichen Oberflächen des laminierten Körpers 5 zu bilden sind. Dann wird es zur Bildung der äußeren Elektroden 3a und 3b bei einer Temperatur von 800 bis 850°C, ähnlich dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel, gesintert. Schließlich werden unter Bildung der Vorrichtung die Anschlußdrähte 6 daran angelötet. Die so hergestellten Vorrichtungen wurden untersucht. Für die, die unter Verwendung der Isolierschicht 4 und der Materialien der Nummern 3–8 in der oben beschriebenen Tabelle hergestellt wurden, war erkennbar, daß die Erzeugung der Reaktionsschicht an der Oberfläche zwischen dem dünnen Plättchen 1 und der Isolierschicht 4 unterdrückt werden und die Vorrichtung ähnlich dem vorher beschriebenen Ausführungsbeispiel einen hohen Isolationswiderstand besitzt. In diesem Fall können die Aufbringungsmethode, das Elektrophoreseverfahren und andere bekannte Verfahren außer dem Siebdruckverfahren zur Bildung der Isolierschicht 4 verwendet werden.

Obwohl im vorliegenden Ausführungsbeispiel ein Beispiel beschrieben wurde, in dem isolierende Keramik eines  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-BaO-ZnO-TiO}_2\text{-ZrO}_2$ -Systems als kristallines anorganisches Material zur Bildung der Isolationsschichten 4, 7a und 7b verwendet wurde, können auch andere kristalline anorganische Materialien hierfür eingesetzt werden. Weiterhin ist es selbstverständlich, daß die vorliegende Erfindung ohne Berücksichtigung der Form, der Größe und des Herstellungsverfahrens der geschichteten Verstellvorrichtung angewandt werden kann.

#### Patentansprüche

##### 1. Geschichtetes Verstellglied mit

- einer Vielzahl dünner Plättchen (1), aus einem piezo-elektrischen, elektromechanischen Wandlermaterial, die aufeinandergeschichtet einen laminierten Körper (5) bilden;
- inneren Elektroden (2a, 25), die zwischen den Plättchen ausgebildet und abwechselnd an zwei verschiedenen Orten auf den seitlichen Oberflächen des laminierten Körpers (5) über äußere Elektroden (3a, 35) mit entgegengesetzten Polen einer Spannungsquelle verbindbar sind, wobei die äußeren Elektroden (3a, 35) durch
- Isolationsschichten (7a, 7b) von jeweils jeder zweiten inneren Elektrode (2a, 25) elektrisch isoliert sind,

**dadurch gekennzeichnet**, daß die Isolationsschichten (7a, 7b) aus einem kristallinen anorganischen Material bestehen, das in PbO überführtes Pb mit einem Anteil von 5 bis 45 Gew.-% enthält.

2. Geschichtetes Verstellglied nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Isolationsschichten (7a, 7b) auf ihrer dem laminierten Körper (5) zugeordneten Seite eine Schicht mit Reaktionsprodukten aus einer Reaktion zwischen den Isolationsschichten und den Bestandteilen des laminierten Körpers (5) aufweisen, die nicht größer als 2  $\mu\text{m}$  ist.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen



FIG. 1A

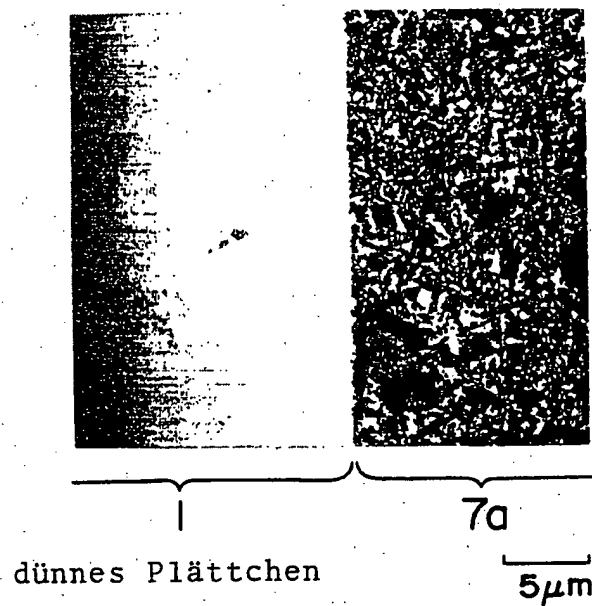


FIG. 1B

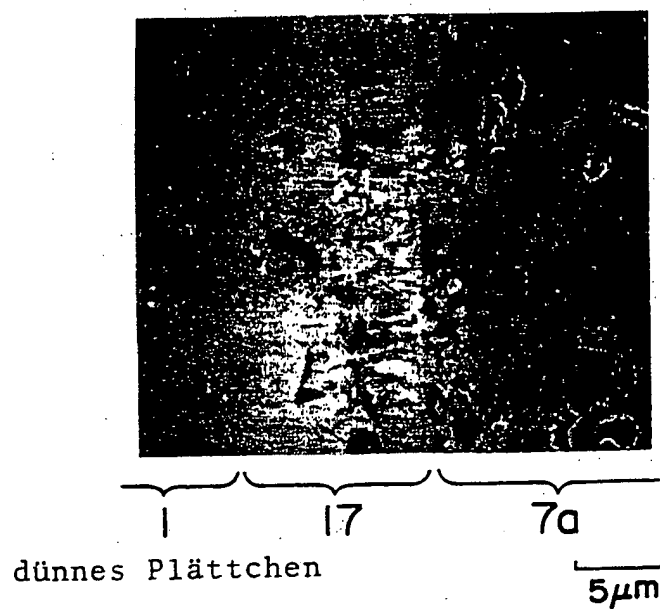


FIG. 2A

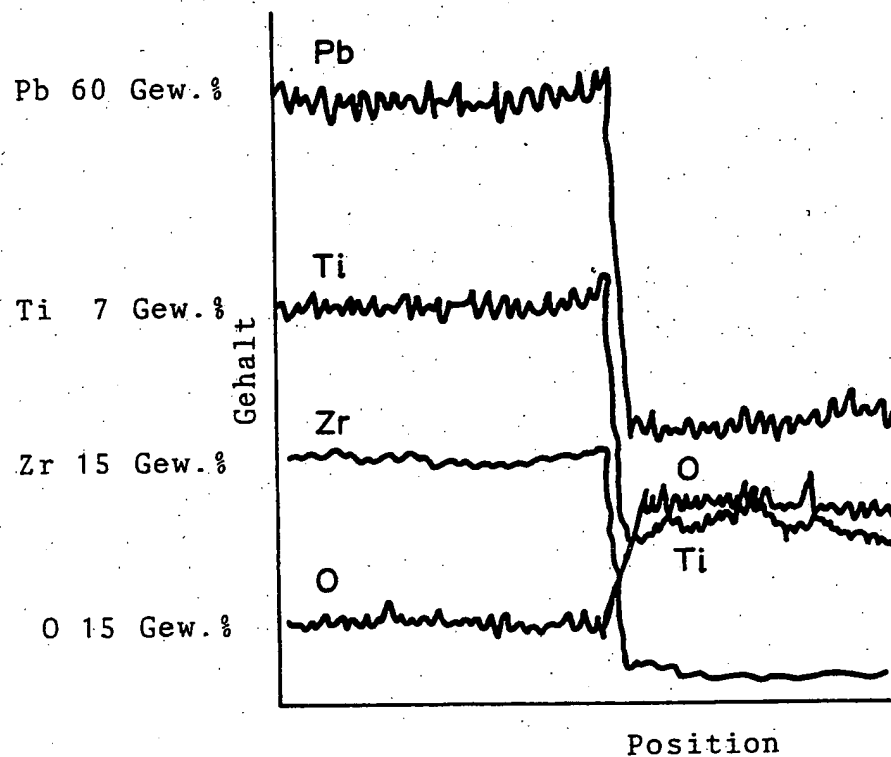


FIG. 2B

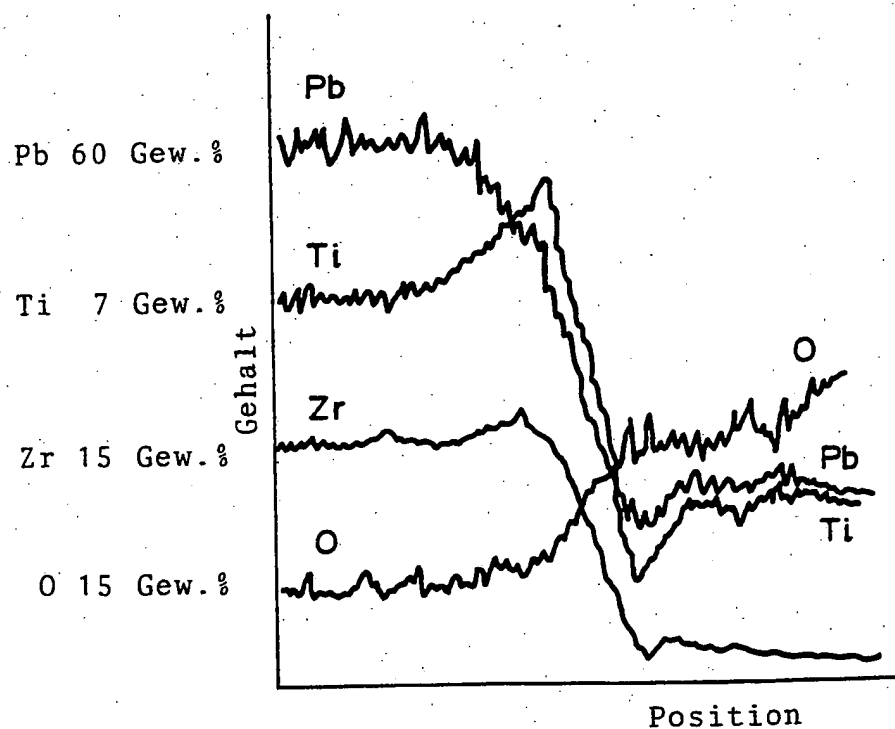


FIG. 3

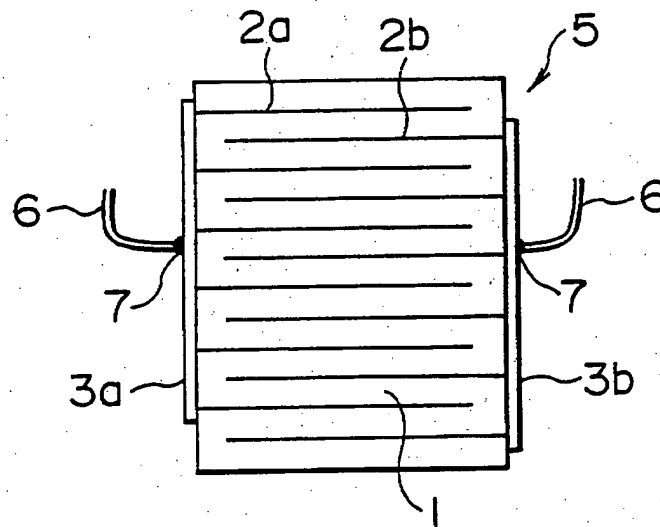


FIG. 4

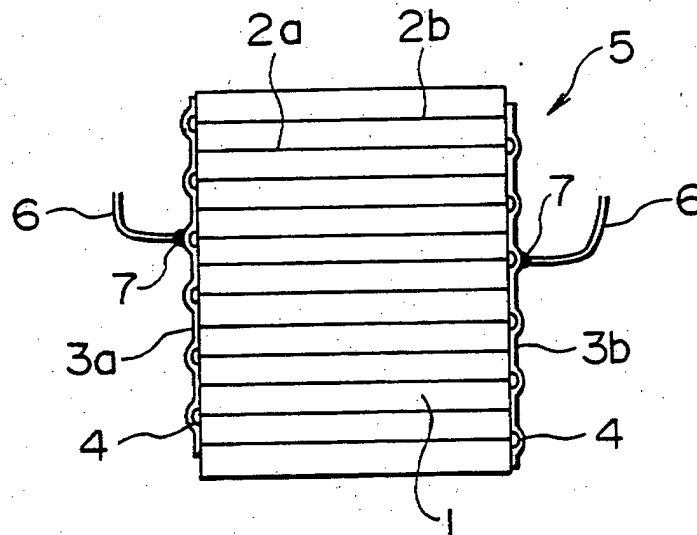


FIG. 5A

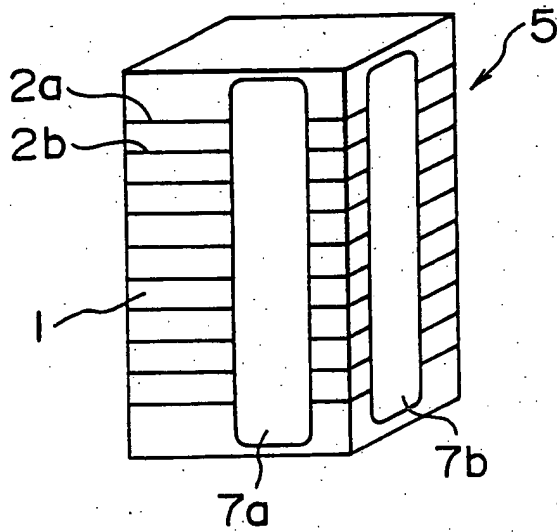


FIG. 5B

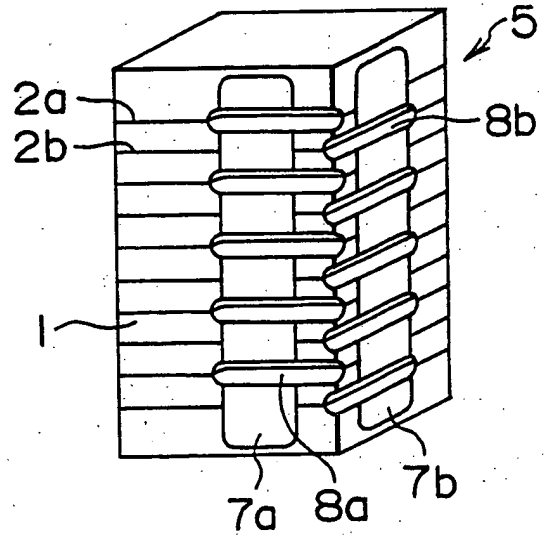


FIG. 5C

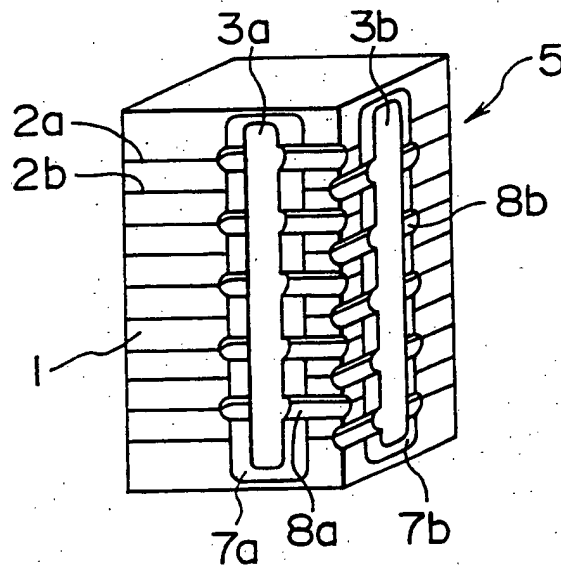


FIG. 5D

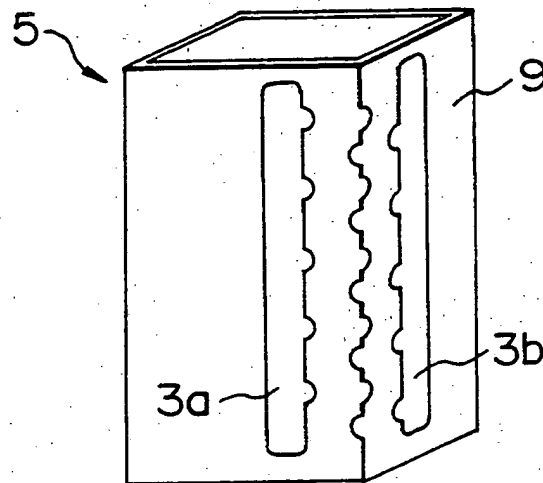


FIG. 5E

